

SELECCIÓN Y EVALUACIÓN AGRONÓMICA EN MORFOTIPOS SAIWA Y LAST'A DE QAÑAWA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

Selection and agronomic evaluation in Saiwa and Last'a morphotypes of qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

Mariel Bonifacio-Callisaya¹, Alejandro Bonifacio-Flores²

RESUMEN

La planta de qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) presenta el hábito ramificado, reducida altura, maduración heterogénea en la misma parcela y en la misma planta y dehiscencia del grano, los que dificultan el cultivo en mayor escala. El mejoramiento genético de la qañawa para superar estas características se encuentra en sus inicios. Por lo que en el Centro de Investigación Kiphakiphani se ha propuesto seleccionar por precocidad y altura de planta en genotipos de qañawa y evaluar líneas promisorias. El material genético para selección estuvo integrado por 30 genotipos Saiwa y 52 Last'a y para la evaluación agronómica se realizó con 10 líneas promisorias (5 Saiwa y 5 Last'a) establecido en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se ha registrado los días transcurridos desde la siembra a la madurez fisiológica y altura de planta. Con los datos obtenidos se elaboró la distribución de frecuencias y seleccionó genotipos calculando el diferencial de selección. En las líneas se registró altura de planta, diámetro de follaje, rendimiento, índice de cosecha (IC) y peso hectolítrico del grano. En qañawa Saiwa se seleccionaron precoces de 151.0 días a madurez y en Last'a de 136.0 días. Para la altura de planta, se seleccionó de 43.29 y 39.3 cm en Saiwa y Last'a respectivamente. En las líneas promisorias, la altura de planta, diámetro de follaje, IC y rendimiento presentaron diferencias estadísticas significativas. Las Saiwa alcanzaron mayor altura, pero las Last'a fueron superiores en diámetro de follaje y rendimiento. El peso hectolítrico del grano fue similar entre líneas. En conclusión, en las Saiwa se seleccionó genotipos precoces de 145.0 días y en Last'a de 136.0 días. Las líneas Saiwa fueron superiores en altura de planta, las Last'a superiores en diámetro foliar y rendimiento (2 554.4 kg ha⁻¹), determinándose que la fuente genética para precocidad y rendimiento se encuentra en qañawa Last'a.

Palabras clave: *Chenopodium pallidicaule*, selección, precocidad, altura de planta, diferencial de selección, rendimiento.

ABSTRACT

The qañawa plant (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) has a branched habit, reduced height, heterogeneous maturation in the same plot and on the same plant, and grain dehiscence, which make cultivation on a larger scale difficult. The genetic improvement of the qañawa to overcome these characteristics is in its infancy. Therefore, at the Kiphakiphani Research Center, it has been proposed to select for earliness and plant height in qañawa genotypes and evaluate promising lines. The genetic material for selection was integrated by evaluating 30 Saiwa and 52 Last'a genotypes of qañawa and for selection purposes, while the agronomic evaluation was carried out with 10 promising lines (5 Saiwa and 5 Last'a) established in random blocks with four repetitions. The days elapsed from sowing to physiological maturity and plant height have been recorded. With the data obtained, the frequency distribution was elaborated and genotypes were selected, calculating the selection differential. In the lines, plant height, foliage diameter, yield, harvest index (IC) and hectoliter weight of the grain were recorded. In qañawa Saiwa, precocious from 151.0 days to maturity and in Last'a from 136 days were selected. For plant height, 43.29 and 39.3 cm were selected in Saiwa and Last'a, respectively. In the promising lines, plant height, foliage diameter, CI and yield presented statistically significant differences. The Saiwa reached greater height, but the Last'a were superior in foliage diameter and yield. Grain hectoliter weight was similar between lines. In conclusion, early genotypes of 145.0 days were selected in Saiwa and 136.0 days in Last'a. The Saiwa lines were superior in plant height, the Last'a superior in leaf diameter and yield (2 554.4 kg ha⁻¹), determining that the genetic source for earliness and yield is found in qañawa Last'a.

Keywords: *Chenopodium pallidicaule*, selection, earliness, plant height, selection differential, yield.

¹ Pasantía técnica Proyecto SATREPS-JICA, Bolivia.

² Investigador principal Fundación PROINPA y Docente Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1185-3423>. abonifacio@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

La qañawa, qañawi o qañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es una especie nativa de los Andes Altos entre Bolivia y Perú que se cultiva en pequeñas áreas y cuyo producto (grano) cumple rol importante en la seguridad alimentaria de los pobladores que viven en el altiplano ubicado entre 3 800 y 4 200 m s.n.m. El cultivo presenta características sobresalientes por tolerancia a heladas y al granizo que son factores abióticos adversos frecuentes en el altiplano. Su tolerancia a sequía está dada por la precocidad que confiere la capacidad de escape de la sequía; por lo que se constituye en cultivo indicado para afrontar el cambio climático que tiene consecuencias negativas para otros cultivos del altiplano.

Repo-Carrasco et al. (2003); Tapia y Fries (2007), mencionan que la qañawa contiene niveles altos de nutrientes debido a la presencia de aminoácidos esenciales y minerales tales como hierro y zinc. A pesar de sus bondades agronómicas de la planta y calidad nutritiva de su grano, la qañawa es un cultivo marginal en un sistema de producción de subsistencia (Gade, 1970). El principal problema del cultivo de qañawa es la dehiscencia, el porte bajo que tienen las plantas, dificultando así la cosecha, también está la poca diversificación en el consumo (Tapia y Fries 2007; Apaza, 2010).

Las características agronómicas de la planta que limitan el cultivo a mayor escala son el hábito ramificado de la planta que alcanza en promedio 50 cm de altura con maduración heterogénea en la misma parcela y en la misma planta dificultan la cosecha. La dehiscencia del grano a la madurez que se traducen en pérdidas en el rendimiento, siendo este carácter el más crítico en el cultivo de qañawa. Por otra parte, la falta de tecnología de cosecha y trilla así como el reducido consumo en la población urbana y suburbana atribuible a la falta de productos con valor agregado y uso diversificado, conduce a una menor demanda en el mercado. Estos factores desalientan a los productores a cultivar en mayor escala.

La qañawa es un cultivo que no ha merecido la atención en las políticas nacionales de desarrollo rural y económico (Tapia y Fries, 2007; Mamani, 2020), siendo relegado a un segundo plano o llevado al olvido por los tomadores de decisión. Por tanto, los resultados de investigación en la qañawa son escasas,

por lo que la mayor parte del conocimiento sobre este cultivo se encuentra en el saber local y se transmite de generación a generación por vía oral y mediante la práctica de manejo del cultivo en campo.

A diferencia de la quinua, el mejoramiento genético de la qañawa se encuentra en sus inicios. Los métodos de selección aplicables en qañawa son la selección masal e individual (Apaza, 2010); Bonifacio-Flores (2018) sugirió los métodos de selección masal, individual y combinada cuando se emplea material genético consistente en poblaciones nativas o etno variedades, mientras que para material segregante proveniente de cruzamientos y mutación sugiere la selección uniseminal ajustada, conducción masiva de segregantes y el método del Pedigrí. La selección es uno de los métodos más empleado en mejoramiento de plantas, pudiendo calcularse el diferencial de selección como un criterio de avance en los objetivos del mejoramiento. El diferencial de selección se expresa como la diferencia entre la media de la población base y la media de los individuos seleccionados.

En el Altiplano la variabilidad climática siempre ha sido el fenómeno natural común, sin embargo, el cambio climático es muy evidente en las últimas décadas. La variabilidad y cambio climático juntos configuran un contexto desfavorable y complejo para la agricultura del altiplano (sequía, heladas, granizo). La qañawa por ser tolerante a heladas y granizo y por su adaptación a mayores altitudes que la quinua, es el cultivo promisorio para afrontar los efectos adversos derivados del cambio climático. Otra ventaja de la qañawa es el grano libre de saponina, por lo que no requiere de mayores volúmenes de agua para el beneficiado en comparación con la quinua amarga que requiere de varios lavados para remover la saponina previo al consumo. El agua será el elemento más limitante como efecto del calentamiento global (UN Water, 2019), donde los procesos industriales o artesanales que empleen menor cantidad de agua serán apreciadas como parte de las medidas de adaptación al cambio climático.

El grano de qañawa al no tener saponina, no requiere mayor cantidad de agua para la obtención del grano listo para el consumo, favoreciendo así al cuidado del agua en un contexto con menor disponibilidad de agua dulce impuesto por el calentamiento global.

El Centro de Investigación Kiphakiphani maneja una colección de trabajo que incluye genotipos y variedades

nativas o etno-variedades que son fuente de material genético para su aprovechamiento en la obtención de variedades. Este material genético se encuentra en proceso de selección y otras líneas avanzadas disponibles para la evaluación agronómica.

Para la investigación se ha planteado realizar la selección de genotipos y evaluación agronómica de qañawa Saiwa y Last'a con los siguientes objetivos:

- Seleccionar genotipos de qañawa Saiwa y Last'a según precocidad o altura de planta
- Evaluar líneas promisorias de qañawa por sus caracteres agronómicos
- Determinar las fuentes de precocidad y altura de planta en qañawa para fines de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación se ha desarrollado en los predios del Centro de Investigación Kiphakiphani perteneciente a la Fundación PROINPA (Promoción e Investigación de Productos Andinos) que está ubicada entre las comunidades de Choquenaira y Charahuayto en el municipio de Viacha de la provincia Ingavi del departamento de La Paz, Bolivia. Las coordenadas geográficas son, Latitud Sur 16° 40' 29.98" y Longitud Oeste 68° 17' 58.15" y a una altura de 3 840 m s.n.m. (Paucara, 2016). Los datos climáticos de Viacha son temperatura media anual 8.41 °C con mínima extrema promedio de -5.10 °C y máxima extrema de 19.40 °C y la precipitación anual de 524.6 mm concentrándose el 70 % de la precipitación entre diciembre y marzo (PDM-Viacha, 2012).

Metodología

Material genético

En la investigación se ha empleado dos grupos de material genético del programa de mejoramiento de qañawa: a) material genético para la selección integrada por 30 genotipos Saiwa y 52 tipo Last'a (Figura 1), y b) líneas promisorias para la evaluación agronómica con 5 líneas del morfotipo Saiwa y 5 del tipo Last'a (Figura 2).

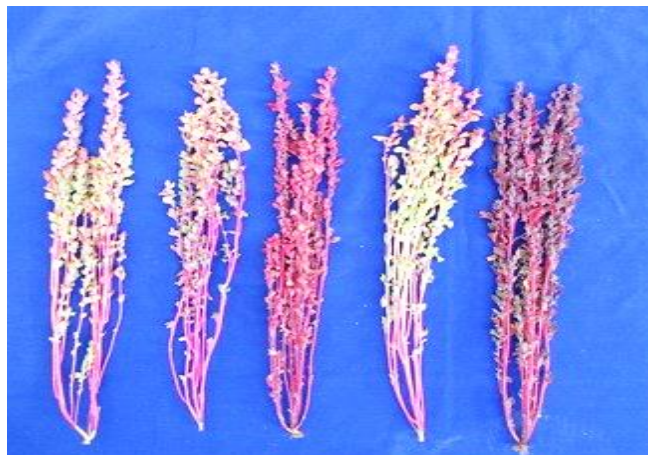


Figura 1. Morfotipo Saiwa.



Figura 2. Morfotipo Last'a.

Selección en morfotipos Saiwa y Last'a

Considerando que los morfotipos Saiwa y Last'a presentan diferencias en área debido a las ramas concentradas hacia el tallo principal (Saiwa) y ramas abiertas o alejadas del tallo principal (Last'a) se ha optado por sembrar en bloques de selección separados. Al interior de los bloques, los genotipos fueron sembrados en un surco de 3 m de longitud y con distancia entre surcos de 50 cm siguiendo el orden correlativo según registro de los genotipos.

La precocidad del material genético fue determinada mediante el número de días transcurrido desde la siembra hasta la fase de madurez, para lo cual se ha considerado que al menos el 50 % de la población de plantas de cada genotipo haya alcanzado la madurez.

Para la selección de genotipos precoces, se elaboró la curva de distribución de frecuencias subdividiendo la amplitud de variación en precocidad en siete clases.

En la curva de frecuencias, se ha identificado los genotipos que han alcanzado la madurez en menor número de días respecto a la población total, es decir, aquellas unidades que se ubicaron en el extremo inferior de la curva (cola izquierda). Esta decisión fue tomada en razón de que las plantas precoces presentan varias ventajas en un contexto de cambio climático (escape de heladas y sequía).

La selección por altura de planta fue realizada en base a la altura alcanzada en la fase de madurez (más del 50 % de la población en madurez), para lo cual se ha registrado la altura de planta en cinco plantas tomadas al azar al interior de la población y registrando la altura desde el cuello de la planta hasta el ápice de la inflorescencia central. En razón de que las plantas de mayor altura facilitan la cosecha, se optó por seleccionar las plantas más altas, es decir, aquellas que se ubicaron hacia la derecha de la curva de distribución de frecuencias (cola derecha).

Con los datos obtenidos, se ha determinado el diferencial de selección (D.S.) para precocidad y altura de planta en forma independiente. La [Ecuación 1](#) fue empleada para calcular el D.S. (Ipinza, 1998):

$$D.S. = \bar{X}_s - \bar{X}_o \quad [1]$$

Dónde: D.S. = diferencial de selección; \bar{X}_o = media de población base u original; \bar{X}_s = media de la población seleccionada.

Evaluación agronómica de líneas promisorias

Para la evaluación agronómica se estableció un ensayo con 10 líneas (5 Last'a y 5 Saiwa) en un diseño de Bloques Completos al Azar con cuatro repeticiones.

La altura de planta se registró en nueve fechas de lectura desde la ramificación hasta la madurez del cultivo midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo principal a intervalo de 10 días. El diámetro de follaje se registró en los mismos periodos y tomando como el promedio del diámetro mayor y diámetro menor (cm) del follaje a intervalos de 10 días.

El índice de cosecha fue determinado mediante la relación del rendimiento económico y rendimiento biológico de la parte aérea de la planta, es decir el peso del grano sobre el peso seco de la planta cosechada.

$$I.C. = PG/PPI \quad [2]$$

Dónde: I.C. = índice de cosecha; PG = peso del grano (kg); PPI = peso de planta (kg).

El rendimiento de grano fue registrado en base al peso (kg) del grano entero (grano cubierto por el perigonio) obtenido de la parcela útil (m²) de cada unidad experimental y luego transformado a kg por hectárea.

El peso hectolítrico del grano fue determinado por el grano entero, es decir cubierto por el perigonio, registrando el peso de la muestra de grano (g) que ocupa un volumen (cc) que luego fue transformado a unidades de kg por 100 litros o hectolitro (kg HI⁻¹).

$$PHI = P/V \quad [3]$$

Dónde: PHI = peso hectolítrico; P = peso (kg); V = volumen (100 l).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección y diferencial de selección

La altura de planta en genotipos Saiwa varió entre 28.00 y 52.50 cm con promedio de 43.29 cm, mientras que en la Last'a el rango fue entre 25.00 y 51.00 cm, con media 39.30 cm destacándose en mayor altura de planta los genotipos Saiwa. Los genotipos Saiwa alcanzaron la madurez entre 142 y 159 días y las Last'a entre 132 y 149 días, reflejando que el grupo Last'a alberga genotipos precoces en relación a los de tipo Saiwa, lo cual es muy interesante para orientar el mejoramiento para precocidad hacia este grupo de material genético, es decir, la selección por este carácter debe concentrarse en este grupo de plantas. Contrariamente, si el propósito es la obtención de plantas de mayor altura, la selección debe realizarse en los genotipos Saiwa ([Tabla 1](#)).

La diferencia en altura promedio de planta entre el tipo Saiwa y Last'a es de 3.99 cm siendo de mayor altura el tipo Saiwa. La mayor altura de planta es deseable en la qañawa por la facilidad que ofrece en la cosecha. La diferencia en número de días desde la siembra hasta la madurez entre el tipo Saiwa y Last'a es de 10 días, es decir, que los de tipo Last'a maduran 10 días antes que el tipo Saiwa. La diferencia de 10 días en la madurez puede ser un factor decisivo para el escape de heladas cuando la planta se encuentre en etapa de maduración.

Tabla 1. Estadística descriptiva para altura de planta y días a madurez en genotipos de qañawa Saiwa y Last'a.

Estadística descriptiva	Saiwa		Last'a	
	Altura (cm)	Madurez (días)	Altura (cm)	Madurez (días)
Población (n)	30.00	30	52.00	52
Media	43.29	151	39.30	141
Desviación estándar	5.47	4	5.66	3
Valor mínimo	28.00	142	25.00	132
Valor máximo	52.50	159	51.00	149

Fuente: Elaborado en base a Bonifacio-Callisaya (2022).

Mayta-Mamani et al. (2015), al evaluar 12 accesiones de qañawa, reportaron el rango de variación en altura de planta de 27.3 a 43.0 cm (15.7 cm), pero no consideraron los días a madurez. Pinto y Rojas (2016), registraron 80 días de variación entre las más precoces (140 días) y las más tardías (184 días) y para la altura de planta la variación fue de 2.80 cm hasta 73.20 cm (diferencia de 60.40 cm). Los resultados, muestran amplia variación en altura y precocidad, pero el material genético no fue diferenciado según el hábito de crecimiento (Saiwa y Last'a) y tampoco entre cultivada y silvestre (T'asa o Pampa Last'a).

En el presente trabajo se ha diferenciado según hábito de crecimiento, además se ha trabajado con genotipos que provienen de plantas cultivadas, puesto que el hábito de crecimiento (Saiwa y Last'a) y el tipo silvestre o cultivado determinan amplia variación en altura de planta y precocidad.

La Figura 3 presenta la distribución de frecuencias para los morfotipos Saiwa en función a intervalos de clase por días a madurez. Los días a madurez en genotipos Saiwa registraron el rango de madurez entre 142.0 y 159.0 días con promedio de 151.0 días y la distribución de frecuencias muestra una tendencia hacia una curva normal con media y moda más o menos coincidentes (Tabla 1 y Figura 3). Al interior de estos valores extremos en días a madurez se conforman siete grupos con sus frecuencias correspondientes a cada intervalo de clase, de los cuales los genotipos seleccionados fueron los dos grupos de mayor precocidad claramente diferenciada en la distribución de frecuencias. Los valores obtenidos fueron: media de la población de 151.0 días, media de la selección 145.0 días, diferencial selección seis días y presión de selección 16.6 %.

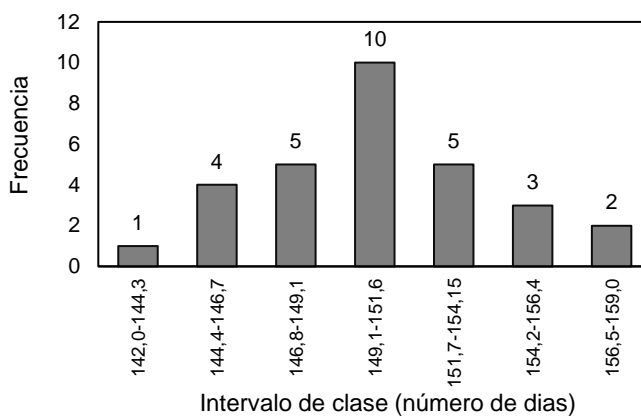


Figura 3. Distribución de frecuencias para días a madurez del morfotipo Saiwa (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

Los genotipos del tipo Last'a alcanzaron la madurez entre valores extremos entre 132.0 y 149.4 días y la distribución de frecuencias por precocidad con media de 141.0 días, pero la mayor frecuencia inclinada hacia la derecha (Tabla 1 y Figura 4).

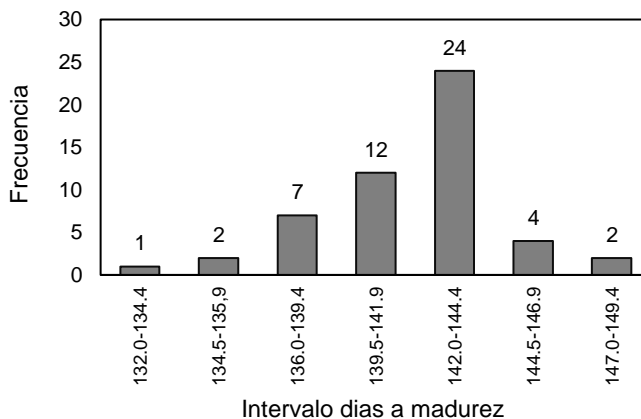


Figura 4. Distribución de frecuencias para días a madurez del morfotipo Last'a (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

En base al histograma de distribución de frecuencias del tipo Last'a se ha seleccionado los genotipos precoces y se ha extraído la siguiente información sobre el diferencial de selección y presión de selección con: media de la población de 141.0 días, media de la selección 136.0 días, diferencial selección cinco días y presión de selección del 19.2 %. Paucara (2016), ha evaluado líneas precoces de qañawa tipo Last'a, identificando líneas precoces que maduraban en 143.0 días desde la siembra hasta la cosecha.

La Figura 5 reporta la distribución de frecuencias para altura de planta en morfotipo Saiwa.

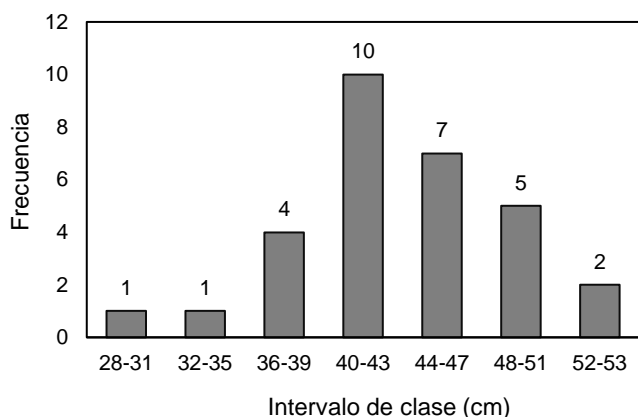


Figura 5. Distribución de frecuencia para altura de planta del morfotipo Saiwa (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

La distribución de frecuencias muestra que la altura de planta en el morfotipo Saiwa presenta una ligera concentración de genotipos hacia una mayor altura de planta, mientras que las plantas con menor altura presentan una baja frecuencia. Las plantas altas facilitan la cosecha y la mayor frecuencia ofrece mayor opción de selección por este carácter. Por lo que se ha logrado seleccionar plantas altas entre 48 y 53 cm. Los datos de altura referentes a la selección son: media de la población 43.29 cm, media de la selección 50.10 cm, diferencial selección 6.81 cm y presión de selección de 23.0 %.

Ticona (2005), al evaluar el efecto de bio-fertilización (BioI, Vigortop y Fertisol) en qañawa, obtuvo la altura promedio 55.6 cm en el ecotipo Saiwa. Por su parte, Mamani (2020), en un ensayo de ferti-riego implementado en la Estación Experimental Choquenaira, reportó la altura de planta entre 37.99 y 46.95 cm.

La distribución de frecuencias para altura de planta de genotipos Last'a se encuentra en la [Figura 6](#), donde se observa una tendencia inclinada hacia la derecha,

lo cual significa que incluye mayor frecuencia de plantas con mayor altura relativa.

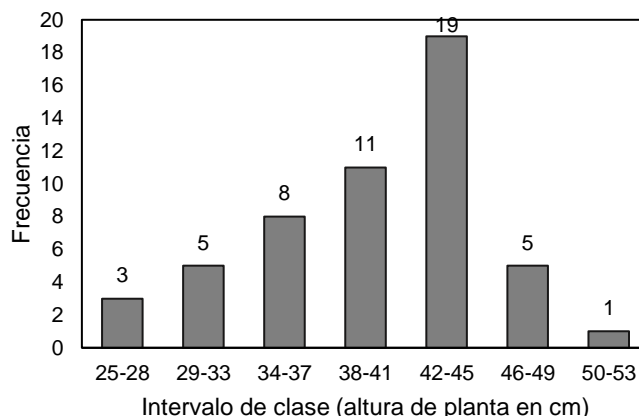


Figura 6. Distribución de frecuencias para altura de planta del morfotipo Last'a (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

La altura de planta promedio de la población, la media de plantas seleccionadas, el diferencial de selección y la presión de selección en los genotipos Last'a son: media población 39.3 cm, media selección 47.3 cm, diferencial selección 8.0 cm y presión de selección con 11.53 %.

Evaluación agronómica de líneas promisorias

La altura de planta alcanzada por las líneas de qañawa en el transcurso de nueve lecturas en el ciclo productivo, permitió obtener la curva de crecimiento muy similar a la curva sigmoidea típica del crecimiento vegetal. En las primeras etapas de desarrollo, se observó ligeras diferencias entre las líneas, en las etapas subsiguientes se diferencian ligeramente entre líneas alcanzando una clara diferenciación a la madurez fisiológica. Se evidencia que las mayores alturas alcanzadas a la madurez, corresponden a las líneas del morfotipo Saiwa, es decir que estas son más altas que los del tipo Last'a ([Figura 7](#)).

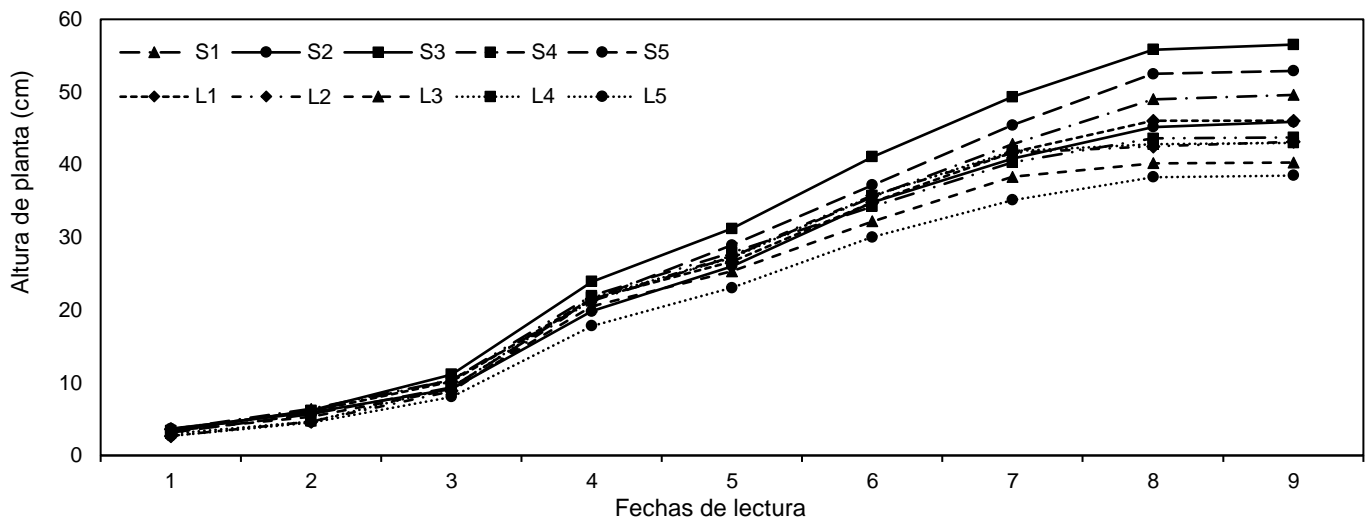


Figura 7. Altura de planta de 10 líneas de qañawa (S=Saiwa, L= Last'a) en nueve fechas de lectura (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

El incremento en diámetro de follaje presenta un comportamiento particular, observándose similar diámetro en las primeras etapas del desarrollo, un ascenso rápido en etapa de ramificación, una

tendencia hacia la constante en etapa reproductiva y un ligero descenso del diámetro foliar en la madurez. La reducción del diámetro de follaje a la madurez es más evidente en el morfotipo Last'a (Figura 8).

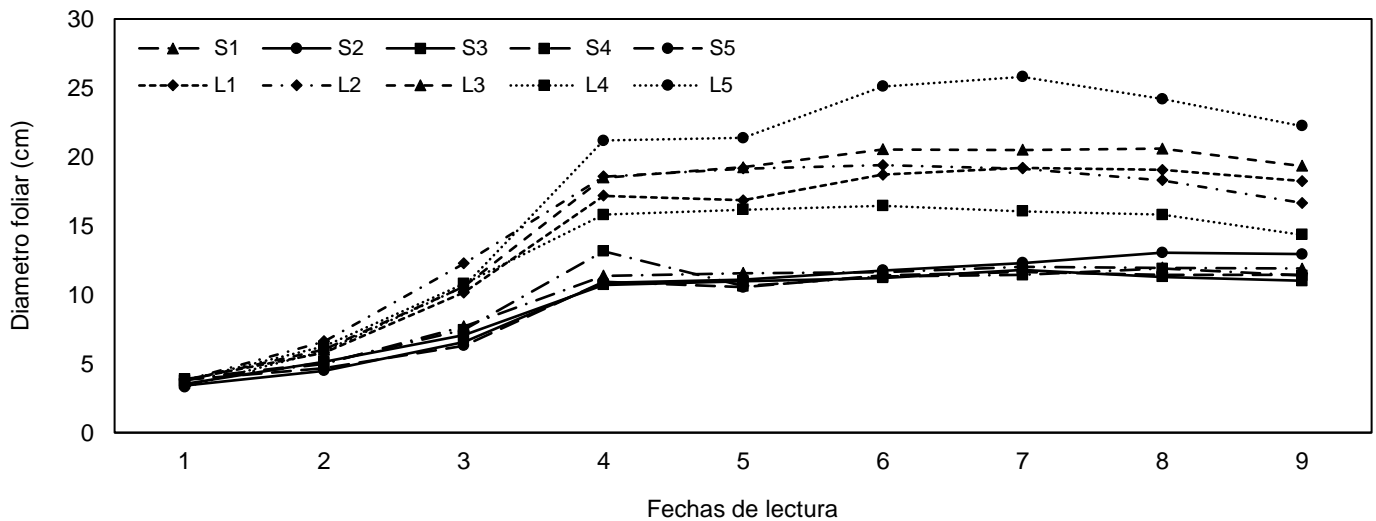


Figura 8. Curva del incremento del diámetro de follaje de 10 líneas (S=Saiwa, L= Last'a) en nueve fechas de lectura (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

En la Figura 8 se puede observar que las líneas de qañawa tipo Last'a alcanzaron mayor diámetro de follaje, lo cual coincide con el hábito de crecimiento de los diferentes morfotipos. Los valores máximos alcanzados en diámetro foliar se mantienen constantes en los morfotipos Saiwa, en cambio, en las Last'a, el diámetro foliar disminuye ligeramente a la madurez. El examen cuidadoso sobre este comportamiento permitió evidenciar que los tipos Last'a presentan ramas abiertas en fase vegetativa,

pero, en la fase de madurez, el ápice de las ramas tiende a acercarse al tallo principal mediante una ligera curvatura del tallo, por lo que el diámetro foliar disminuye a la madurez.

En la Figura 9 se puede observar que las líneas promisorias de qañawa Saiwa (S1, S2, S3, S4, S5T) alcanzaron mayores alturas, mientras que las de tipo Last'a (L1, L2, L3, L4, L5T) son de menor altura. Este resultado es concordante con los registrado para los

30 genotipos Saiwa y 52 genotipos Last'a. Las diferencias en el diámetro de follaje, radica en el crecimiento de las ramas, puesto que en el tipo Saiwa, las ramas tienen crecimiento paralelo al tallo

principal, mientras que en el tipo Last'a las ramas crecen con un ángulo de separación del tallo principal próximo o mayor a 45 grados dependiendo de la densidad de plantas por área.

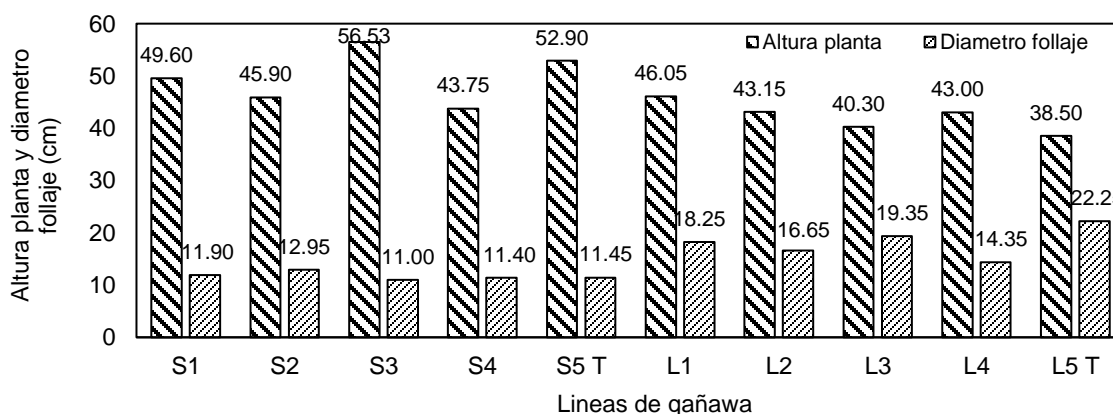


Figura 9. Representación gráfica de altura de planta y diámetro de follaje (cm) de 10 líneas de qañawa Saiwa y Last'a (S=Saiwa, L= Last'a) (Fuente: Bonifacio-Callisaya, 2022).

Chambi (2017), al evaluar 36 accesiones del Banco de Germoplasma de Qañawa ha reportado el diámetro de cobertura foliar 26.6 y 34.6 cm para las accesiones del tipo Saiwa y Last'a respectivamente. Arteaga (1996), al caracterizar las accesiones del Banco de Germoplasma en Patacamaya reportó 2.10 cm para tipo Saiwa y 39.10 cm para Last'a. El rendimiento de grano fue mayor en el morfotipo Last'a en razón de la mayor cobertura foliar que tiene la plantas (Chambi, 2017).

El análisis de varianza para altura de planta y diámetro de follaje muestran que las diferencias observadas entre bloques son estadísticamente diferentes (Tabla 2), lo que significa que la heterogeneidad del suelo u otro factor ambiental ha influido sobre la altura de planta de las líneas de qañawa, resultando en una buena decisión el haber optado por el bloqueo. Las diferencias altamente significativas a nivel estadístico fueron constatadas para la altura de planta y diámetro de follaje de las líneas, significando que al menos una de las líneas evaluadas es distinta.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de varianza (altura de planta y diámetro follaje).

Fuente de variación	GL	CM altura	CM follaje
Bloque	3	52.71 *	15.27 **
Línea	9	125.45 **	62.47 **
Error experimental	27	13.20	2.92
Total	39		
C.V. %		7.98	11.43

Fuente: Elaborado en base a Bonifacio-Callisaya (2022). GL = grados de libertad; CM = cuadrado medio.

La prueba de Duncan (Tabla 3) permitió conformar cinco grupos de medias similares, destacándose la línea S3 como la más alta (56.53 cm) y diferente al resto de las líneas. La línea L5 (Illimani) resultó con menor altura de planta a la madurez fisiológica (38.50 cm). Por otra parte, se observa una cierta tendencia de mayor altura en las Saiwa y menor altura en Last'a.

Tabla 3. Prueba de Duncan (Alfa=0.05) para altura de planta a madurez fisiológica.

Línea	Medias	Duncan
S3	56.53	A
S5 T	52.90	AB
S1	49.60	BC
L1	46.05	CD
S2	45.90	CD
S4	43.75	DE
L2	43.15	DE
L4	43.00	DE
L3	40.30	DE
L5 T	38.50	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05). Fuente: Bonifacio-Callisaya (2022).

Ticona (2005), al evaluar el efecto de la bio-fertilización en ecotipos de qañawa registró la altura promedio de 55.6 cm en el ecotipo Saiwa y 54.1 cm en el ecotipo Last'a con una pequeña diferencia a favor del tipo Saiwa.

La prueba de comparación de rango múltiple de Duncan (Tabla 4) permitió evidenciar seis grupos con medias similares en altura de planta, siendo la línea L5

(Testigo) que es de morfotipo Last'a, la variedad de mayor amplitud de diámetro foliar y le siguen las líneas del mismo tipo Last'a, es decir, ninguna de las líneas promisorias ha superado al testigo del grupo Last'a. Las líneas S3, S4 y S5T que son de tipo Saiwa fueron las de menor diámetro de follaje y le siguen las otras líneas del mismo morfotipo (Saiwa). Las líneas S1 y S2 (Saiwa) lograron superar al testigo (S5T).

El promedio del diámetro de follaje en el morfotipo Last'a es de 18.17 cm y el diámetro foliar del morfotipo Saiwa es 11.74 cm. De lo anterior se confirma las diferencias entre los de hábito con ramas abiertas frente a los de hábito con ramas concentradas al tallo principal, lo cual determina diferencias en el diámetro de cobertura foliar. La connotación práctica de este resultado, tiene relación con la densidad de planta por área que puede ser adoptado, prefiriéndose tener poblaciones más densas con el tipo Saiwa y densidades bajas con el tipo Last'a.

Tabla 4. Prueba de Duncan (Alfa=0.05) para diámetro de follaje a la madurez.

Línea	Medias	Duncan	Promedio (cm)
L5T	22.25	A	Last'a = 18.17
L3	19.35	B	
L1	18.25	BC	
L2	16.65	CD	
L4	14.35	DE	
S2	12.95	EF	Saiwa = 11.74
S1	11.90	EF	
S5T	11.45	F	
S4	11.40	F	
S3	11.00	F	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Fuente: Bonifacio-Callisaya (2022).

La **Tabla 5** contiene los cuadrados medios del análisis de varianza para índice de cosecha y el rendimiento, donde se evidencia que las diferencias observadas para bloques no son estadísticamente significativas, o sea que las diferencias son atribuibles a factores del azar. En cambio, las diferencias observadas entre líneas son altamente significativas, lo cual muestra que el índice de cosecha y el rendimiento son diferentes al menos en una de las líneas evaluadas.

El coeficiente de variación que es del 8.71 y 13.69 % representan que los datos fueron manejados adecuadamente y por tanto se consideran confiables.

Tabla 5. Cuadrados medios del análisis de varianza para índice de cosecha (I.C.) y rendimiento (kg ha⁻¹).

Fuente de variación	GL	CM I.C.	CM (kg ha ⁻¹)
Bloque	3	0.00093 ns	19109.2 ns
Línea	9	0.0031 **	269388.64 *
Error Experimental	27	0.00068	105820.08
Total	39		
C.V. %		7.87	13.69

Fuente: Elaborado en base a Bonifacio-Callisaya (2022).

En la **Tabla 6** se muestra los resultados de la prueba de comparación de rango múltiple de Duncan, donde se evidencia tres grupos conformados que tienen medias similares. La línea L5T que es de tipo Last'a se destaca con mayor índice de cosecha (0.38), le siguen otras líneas del tipo Last'a. Las líneas S2, S3 y S1 del grupo Saiwa son las que tienen menor valor para el índice de cosecha (0.30 a 0.31), deduciéndose que las Saiwas no son muy eficientes para captar a plenitud la luz solar debido a su menor cobertura foliar, por tanto, podrían ser ineficientes a nivel de fotosíntesis. Tancara y Bonifacio (2020), han registrado valores del índice de cosecha de 0.29, 0.33 y 0.34 cuando aplicó 0, 1 y 2 t ha⁻¹ de estiércol de ganado ovino los mismos que se encuentran en el rango obtenido para las 10 líneas evaluadas en el presente trabajo.

Tabla 6. Prueba de Duncan (Alfa=0.05) para índice de cosecha.

Línea	Índice de cosecha	Duncan
L5T	0.38	A
L4	0.36	AB
L3	0.36	AB
L1	0.35	AB
L2	0.33	BC
S4	0.33	BC
S5T	0.32	BC
S1	0.31	C
S3	0.30	C
S2	0.30	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Fuente: Bonifacio-Callisaya (2022).

La **Tabla 7**, presenta la prueba de Duncan que permite visualizar cinco grupos de medias similares en rendimiento, donde la línea L2 que dio origen a la variedad Qañawiri se encuentra en el primer grupo de líneas sobresalientes con 2777.75 kg ha⁻¹. La variedad Qañawiri fue registrada en la Dirección Nacional de Semilla del INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal) (INIAF, 2021). La información generada en el presente trabajo contribuyó al proceso de registro de la nueva variedad.

En general, se observa que el rendimiento es mayor en las líneas del tipo Last'a (2 554.4 kg ha⁻¹) y es menor en los de tipo Saiwa (2 199.15 kg ha⁻¹). La implicancia de este resultado podría conducir a seleccionar preferentemente plantas del tipo Last'a cuando el rendimiento sea el principal objetivo.

Tabla 7. Pruebad de Duncan para rendimiento de grano (kg ha⁻¹)

Línea	Medias kg ha ⁻¹	Duncan
L2	2 777.75	A
L4	2 688.50	AB
L5	2 581.25	ABC
L3	2 396.75	ABCD
S4	2 395.50	ABCD
S3	2 353.25	ABCD
L1	2 327.75	ABCD
S5	2 231.75	BCD
S1	2 075.00	CD
S2	1 940.25	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Fuente: Bonifacio-Callisaya (2022).

Tancara y Bonifacio (2020) en un ensayo de evaluación del efecto del estiércol de llama en qañawa, obtuvo rendimientos estadísticamente diferentes para los niveles de 2 t ha⁻¹, 1 t ha⁻¹ y Testigo de 3 049 kg ha⁻¹, 2 147 kg ha⁻¹ y 597 kg ha⁻¹ respectivamente y Ticona (2005) reportó rendimientos de 2 677.5, 2 495.0 y 2 253.8 kg ha⁻¹ cuando aplicó fertilización con Biol, Fertisol y Vigortop respectivamente, en cambio para el testigo registró 2 230 kg ha⁻¹. El rendimiento reportado en el presente ensayo se encuentra en los rangos citados.

Los rendimientos de ensayos experimentales generalmente son altos porque los datos provienen de muestras tomadas de la parcela útil donde la densidad de plantas es homogénea y el área de muestreo determinada en forma precisa; mientras que en condiciones en parcela de producción comercial la densidad de plantas y las áreas de la parcela presentan irregularidades en densidad de plantas, heterogeneidad ambiental y las dimensiones de la parcela generalmente irregular, lo que se traducen en menores rendimientos en relación a datos experimentales. Para tener una relación entre del rendimiento experimental con el rendimiento comercial se requiere determinar un factor de corrección que podría ayudar a estimar el rendimiento en condiciones del predio del productor.

Las diferencias en peso hectolítrico del grano entero (grano cubierto por el perigonio), no son estadísticamente significativos, por lo que se puede

asumir que son similares en las líneas evaluadas (Tabla 8).

Tabla 8. Cuadrados medios del análisis de varianza para peso hectolítrico de grano entero o cubierto por el perigonio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio
Bloque	3	1.09 ns
Línea	9	13.14 ns
Error experimental	27	11.46
Total	39	
C.V. %		5.46

Fuente: Elaborado en base a Bonifacio-Callisaya (2022).

Según los valores promedio presentados en la Tabla 9, se ve que el promedio del peso hectolítrico del grano cubierto por el perigonio es 62.02 kg HI⁻¹, el valor mínimo fue de 59.75 kg HI⁻¹ y máximo de 65.00 kg HI⁻¹. Si analizamos por separado el peso hectolítrico según los hábitos de crecimiento, se tiene que el tipo Saiwa tiene la media de 62.50 kg HI⁻¹ y el tipo Last'a 61.20 kg HI⁻¹, lo que conduciría a sostener que los tipos Saiwa producen granos relativamente más pesados frente al grano producido por el tipo Last'a. Las diferencias relativas en peso hectolítrico, pueden atribuirse a diferencias en el tamaño de grano o al grosor del perigonio. Quiroga et al. (2018), al evaluar las características morfológicas del grano se constató diferencias varietales en las capas que recubren el grano (perigonio). En la variedad Illimani las capas de cobertura son de mayor espesor que las del ecotipo Lasta Rosada.

Tabla 9. Valores promedio del peso hectolítrico (kg HI⁻¹) de grano entero o cubierto por el perigonio.

Línea	Entero	Saiwa	Last'a
S1	62.00	62.00	
S2	63.50	63.50	
S3	65.00	65.00	
S4	60.50	60.50	
S5	63.25	63.25	
L1	60.50		60.50
L2	63.25		63.25
L3	59.75		59.75
L4	59.75		59.75
L5	62.75		62.75
Media	62.02	62.50	61.20
D.S.	1.89	1.69	1.68
Mínimo	59.75	60.50	59.75
Máximo	65.00	65.00	63.25

D.S.= desviación estándar. Fuente: Elaborado en base a Bonifacio-Callisaya (2022).

Chambi (2017), reportó valores de peso volumétrico (g cm⁻³) para el grano de 36 accesiones del banco de germoplasma de qañawa. Los datos transformados a

unidades de kg HI⁻¹ (peso hectolítrico) y sometidos al análisis de estadística descriptiva dieron como resultado el valor promedio de 62.3 kg HI⁻¹, desviación estándar de cinco unidades, valor máximo de 72 y mínimo de 48 kg HI⁻¹, lo que muestra una amplia variación.

CONCLUSIONES

El grupo de 30 genotipos Saiwa ha alcanzado la madurez entre 142.0 y 159.0 días desde la siembra hasta la madurez fisiológica, de los cuales se han seleccionado los genotipos más precoces con 145.0 días a la madurez y seis días de diferencial de selección.

Las diferencias por precocidad del morfotipo Last'a (52 genotipos), se encuentra entre los valores extremos de 132.0 y 149.4, de los cuales se han seleccionado los más precoces 136.0 días promedio a madurez con cinco días de diferencial de selección.

Relacionando los genotipos Saiwa y Last'a, se pudo evidenciar que los más precoces se encuentran en el grupo Last'a y los tardíos en el tipo Saiwa, por lo que para seleccionar genotipos precoces se debe considerar preferentemente el grupo de tipo Last'a.

Entre las líneas promisorias, los morfotipos Saiwa alcanzaron mayor altura de planta y los Last'a menor altura, sin embargo, el diámetro de follaje fue mayor en el morfotipo Last'a (18.17 cm) y menor en el tipo Saiwa (11.74 cm).

El índice de cosecha es superior en los de tipo Last'a e inferior en los Saiwa, deduciéndose que existe diferencias significativas en la eficiencia productiva entre ambos morfotipos

En general, se evidencia que el rendimiento es mayor en las líneas del tipo Last'a (2 554.4 kg ha⁻¹) y es menor en los de tipo Saiwa (2 199.15 kg ha⁻¹), sugiriéndose optar por el tipo Last'a cuando el objetivo es la obtención de variedades de mayor rendimiento.

El peso hectolítrico del grano entero son similares en ambos morfotipos, aunque se evidenció diferencias relativas superiores en el tipo Saiwa.

BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, V. 2010. Manejo y mejoramiento de kañiwa. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA-Puno), Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente (CIRNMA). Puno, Perú. 76 p.
- Arteaga, J. 1996. Caracterización preliminar y evaluación agronómica de 480 accesiones de germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la Estación Experimental Patacamaya. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. 72 p.
- Bonifacio-Flores, A. 2018. Métodos de mejoramiento en qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Presentación en: Congreso Nacional de Saberes y Conocimientos en Cañahua, 2do. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, 25 y 26 de octubre de 2018.
- Bonifacio-Callisaya, M. 2022. Selección por precocidad en qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación agronómica de líneas promisorias en Kiphakiphani, Viacha. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de Andrés. 92 p.
- Chambi, JL. 2017. Caracteres agronómicos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en el periodo reproductivo relacionado a la calidad de grano en treinta y nueve accesiones. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés. 63 p.
- Gade, DW. 1970. Ethnobotany of cañihua (*Chenopodium pallidicaule*), rustic seed crop of the Altiplano. Economic Botany 24(1): 55–61.
- Ipinza, R. 1998. Bases matemáticas para selección de árboles plus. En: Curso Mejora Genética Forestal Operativa, 16 - 21 noviembre de 1998. Roberto Ipinza Braulio Gutiérrez Verónica Emhart (eds.). Artes Gráficas y Centenario. Valdivia, Chile. 91-114 pp.
- INIAF, 2021. Registro nacional de variedades y de variedades protegidas (en línea). Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras. Consultado 12 ene. 2022. Disponible en https://www.iniaf.gob.bo/webiniaf/images/DIRECCIONE_S/registro_variedades_2021_compressed.pdf
- Mamani, F. 2020. Producción de grano de ecotipos locales de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) con aplicación de biol de estiércol bovino en la Estación Experimental Choquenaira (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 7(1): 30-39. Consultado 11 feb. 2022. Disponible en <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/141>
- Mayta-Mamani, A; Marza-Mamani, F; Rojas, F; Sainz-Mendoza, HN; Mendoza-Condori, VH. 2015. Evaluación agromorfológica y análisis de componentes de rendimiento en doce accesiones de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Selva Andina Biosph, 3(2): 58-74.

- Paucara, L. 2016. Comportamiento agronómico de quince líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), en la estación experimental de Quipaquipani del departamento de La Paz. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 109 p.
- PDM Viacha. 2012. Plan de Desarrollo Municipal Viacha 2012-2016. Gobierno Autónomo Municipal de Viacha. Iniciativas Bolivia. La Paz, Bolivia. 473 p.
- Pinto, M; Rojas, W. 2016. Variabilidad genética de la colección del germoplasma de cañahua *Chenopodium pallidicaule* Aellen) de Bolivia (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 3(2):125-133. Consultado 11 mar. 2022. Disponible en <https://riiam.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/66>
- Quiroga, CC; Ortiz, AJ; Escalera, CR. 2018. Evaluación de un proceso novedoso de beneficiado en seco del grano de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), basado en la aplicación de un lecho fluidizado tipo surtidor. Revista Investigación y Desarrollo, 18(1):17-34. Consultado 06 feb. 2022. Disponible en <https://www.upb.edu/revista-investigacion-desarrollo/index.php/id/article/view/167>
- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S-E. 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food reviews international, 19(1-2):179-189.
- Tancara, OD; Bonifacio-Flores, A. 2020. Evaluación agronómica del cultivo de Qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) incorporando distintas combinaciones de abono orgánico y urea. Apathapi, 6(3): 2070 -2081.
- Tapia, ME; Fries, AM. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO y ANPE. Lima, Perú. 109 p.
- Ticona, JC. 2005. Efecto de la biofertilización en dos líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en Calasaya provincia Los Andes. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés.
- UN Water. 2019. Informe de políticas de ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. Sweden-swiss agency for development and cooperation- ministry of foreign affairs of the Netherlands. Geneve, Suisse. 27 p.

Artículo recibido en: 02 de octubre 2022

Aceptado en: 10 de diciembre 2022